

相対水深が小さい場での河床基準面と粗度抵抗の取り扱いに関する実験的検討

名城大学大学院 理工学研究科
名城大学理工学部

学生会員 後藤 正和
正会員 溝口 敦子

1. はじめに

近年、山地河川における藻類の剥離および魚類・底生生物の生息環境に対する平水時の流砂の役割が着目されている。しかし、山地河川は、河床材料に様々な粒径が存在し、かつ、相対水深が小さいため水理学的に取り扱いが難しいことから、平水時の流砂に関する研究はほとんどないのが現状である。山地河道の環境回復のためにも平水時の流砂量を推算する必要があるが、そのためには粗度を正しく評価し、流れ特性についても把握する必要がある。これまでの相対水深が小さい場を取り扱った研究では、取り扱いの簡便性から自然石でなく球形粗度で流れについて検討されている¹⁾ため、その成果を実河川に適用するには課題が残る。そこで、本研究では、まず流砂量の算定に必要な水深の見積り方法の提案を目指し、粗度要素にある程度均一な粒径の自然石を用い(図-1)、礫のみで表層の配置状況を変えたケース、及び、礫間を流れる砂が存在するケースを対象として、粗度、河床基準面の取り扱いについて検討する。



図-1 実験で用いた礫

表-1 各河床条件

Pattern①	礫を3層密に上層まで敷き詰める (このときの表層礫数をNとする)
Pattern②	Pattern①の表層に 1/4N の礫を乗せる
Pattern③	Pattern①の表層に 1/2N の礫を乗せる

2. 河床表層構造の違う場での河床高さおよび粗度の取り扱いに関する実験的検討

(1) 実験概要

相対水深が小さい場では、水深を算出するための河床基準面の決定など難しい問題が存在する。河床基準面の決定については流速分布から検討した研究²⁾などがあるが、ここでは流速分布ではなく抵抗則の適用性から河床基準面の取り扱いについて検討を行う。具体的には、表層礫構造を変化させた河床を用いて、以下の実験を行い、河床基準面や粗度の取り扱いについて検討する。

可変勾配水路に、下流端に1mの固定床をおいた長さ7m幅30cmの実験区間を設け、表-1に示した河床表層条件で実験を行う。水路勾配は、1/100, 1/80, 1/60としている。実験では、まず、1cm程度の間隔で水位が上昇するように水を流し、各流量で場が安定した後、流量の計測とポイントゲージを用いた河床面・水位(Pattern①の平均礫頂高さを基準とする)の計測を行った。なお、一部のケースでPIVを用いて流速分布の計測も行い、流れ構造についても調べた。

(2) 河床高さおよび粗度抵抗の取り扱いの検討

実験結果から、相対水深と粗度係数 f の関係を調べ、Manning-Stricklerの式及び等価粗度を粒径程度にしたKeuleganの式の適用性について検討した。なお、粗度係数 f は式(1)で算出している。

$$f = 8 \left(\frac{U}{U_*} \right)^{-2} = \frac{8ghI}{U^2} = \frac{8gh^3I}{q^2} \quad (1)$$

ここに、 U : 平均流速, U_* : 摩擦速度, h : 水深, I : 水路勾配, q : 単位幅流量である。

図-2(A)にはPattern①の平均礫頂高さからの水面位置 h を水深とし、平均礫径 D を等価粗度 k_s として、各ケースの相対水深 h/k_s と粗度係数の関係を示す。これによるとPattern①がManning-Stricklerの式に従うが、その他のパターンでは既存の式で表現できないことがわかる。そこで表層の礫高さのばらつきを調べた実験結果をもとに河床基準面及び等価粗度を補正する³⁾。河床基準面については、密に礫を敷き表層をそろえた

キーワード: 相対水深, 粗度抵抗, 等価粗度, 面積占有率

連絡先(名古屋市天白区塩釜ロ一丁目501番地・052-832-1151)

Pattern①は礫径の $0.15D$ 下方に、表層の礫を追加した Pattern②, ③は, Pattern①の基準面からそれぞれ $0.13D, 0.25D$ 上方にとり, かつ, 等価粗度を Pattern①では D , その他のパターンでは $2D$ とすると, 図-2(B)のように, Keulegan 式に従うことが分かった。

3. 礫砂混合河床での河床高さおよび粗度の取り扱いに関する実験的検討

礫砂混合河床では, 砂がどの程度礫を覆うかによって粗度が変化するため⁴⁾, 砂面高さの変化による粗度抵抗の変化について検討する必要がある。実験は, 2 章で用いた区間に礫間を砂で埋めた河床を設置し, 上流に土砂供給装置, 下流に採砂箱を設置した。ここでの勾配は $1/60$ とした。土砂供給は, 予備実験により決定した平衡流砂量(礫が突出しない流砂量)を 1 とし, $0, 1/3, 2/3, 1$ 倍程度の量で行った。実験では土砂供給量と下流からの土砂流出量が一致した時を平衡状態として, 砂面・礫高さ及び水位(Pattern①の平均礫頂高を基準面とする)をポイントゲージにて計測した。

表層配列 Pattern①の礫上に砂を流したケースについて実験結果を整理し, 相対水深 h/k_s と粗度係数 f の関係を図-3 に示す。図-3 では, 等価粗度 k_s について, 礫突出高さから算出した平均粒径 d_z , 砂の粒径 d_s , 面積占有率から算出した平均粒径 d_{ma} をもとに検討している。これを見ると等価粗度として面積占有率から算出した平均粒径 d_{ma} を用いた場合には, 比較的 Keulegan 式に従っていることがわかる。図-3 の結果を元に, 図-4 では k_s を d_{ma} の約 1 倍および 2 倍とし, 各表層配列パターンについて整理したものを示す。この図から, 礫間に流砂を伴う河床では, 等価粗度 k_s に d_{ma} を約 2 倍したものをを用いると抵抗則が Keulegan 式で評価できると言える。

4. おわりに

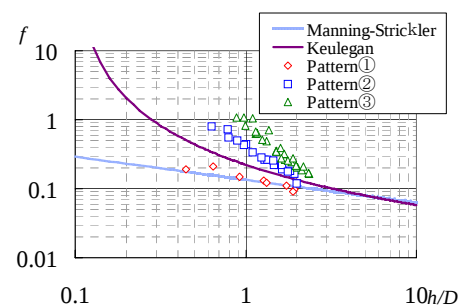
山地河道のような相対水深が小さい場を意識し, 河床面および粗度の取り扱いを検討した結果, 以下のことがわかった。

- ・礫表層構造により河床基準面及び粗度を変化させる必要がある。
具体的には, 礫頂部高さの平均値をもとに河床基準面を決め, さらに礫高さのばらつきを参考に粗度の値を決めることで, 抵抗則として Keulegan 式が適用できる。
- ・礫間に流砂を伴う場合において, 礫頂高さと砂面位置から河床基準面を決定でき, 砂の面積占有率から算出した平均粒径の 2 倍を等価粗度に用いると, 抵抗則として Keulegan 式が適用できる。

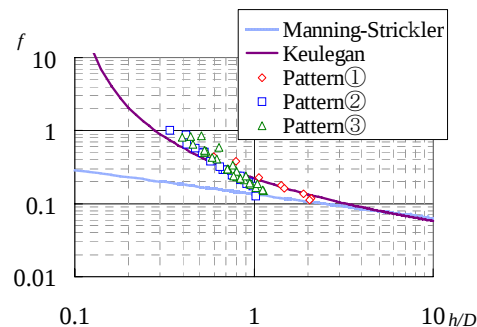
今後は, 本研究結果の実河川への適用性について検討するとともに, 山地における平水時流砂量の算定方法についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 神田ら：球状粗度の床面における浅い流れの抵抗特性, 土木学会論文集, 第 357 号/II-3, pp65-74, 1985.
- 2) 中川ら：相対水深の小さな流れの構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第 423 号/II-14, pp73-81, 1990.
- 3) 後藤・溝口：相対水深が小さい場での河床と粗度の取り扱いに関する検討, 平成 22 年度土木学会中部支部講演概論集, II-38, pp155-156, 2011.
- 4) 溝口：大礫間を流れる砂の流砂量算定に向けた相対水深が小さい場での粗度抵抗・有効掃流力の評価に関する実験的検討, 土木学会応用力学論文集 Vol.13, 2010.



(A)実験値



(B)水深等価粗度補正あり

図-2 相対水深 h/D と粗度係数 f の関係

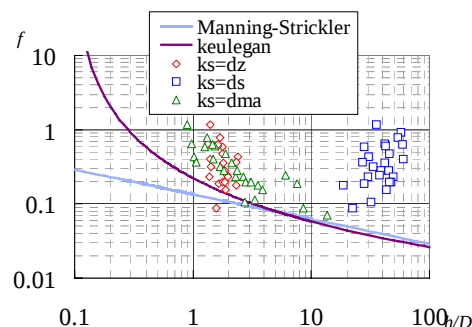


図-3 Pattern①に流砂が伴うケースにおける相対水深 h/k_s と粗度係数 f の関係

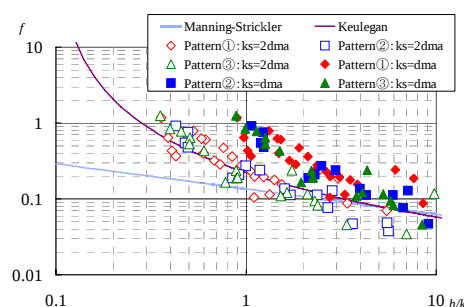


図-4 相対水深 h/k_s と粗度係数 f の関係